

Отзыв

официального оппонента Гусева Сергея Алексеевича на диссертационную работу Зар Ни Аунга «**Закономерности влияния катализаторов на горение энергонасыщенных материалов различного строения, содержащих нитрогруппы**», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 "Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ"

Актуальность темы исследования

Актуальность рассматриваемой работы обусловлена тем, что возможность целенаправленного регулирования скорости горения и зависимости её от давления и начальной температуры отдельных энергонасыщенных компонентов, позволяет компоновать высокоэффективные топлива для изделий различного назначения.

Структура и объём работы

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, экспериментальной части и обсуждения результатов, выводов и списка литературы. Работа изложена на 155 страницах, содержит 92 рисунка и 72 таблицы. Список литературы включает 82 источника.

Введение содержит обоснование актуальности и перспективности темы работы.

В первой главе проведён анализ ранее полученных другими авторами теоретических и экспериментальных результатов по теме диссертации. Рассмотрены закономерности горения баллиститных порохов (БП) и различных взрывчатых веществ (ВВ). Проанализировано влияние различных катализаторов на скорость горения баллиститных топлив, их компонентов и различных нитросоединений, а также рассмотрен механизм катализа горения БП. Обоснован выбор для работы десяти различных нитросоединений, существенно отличающихся по температуре горения, термической устойчивости и другим физико-химическим свойствам, а также сформулированы задачи работы.

Во второй главе представлен анализ свойств выбранных ВВ, катализаторов горения БП и углеродных материалов. Подробно описана технология изготовления образцов ВВ и методики исследования:

- скорости горения и её зависимости от давления;
- температурного профиля волны горения ВВ;
- структуры поверхности горения погашенных образцов;
- термической устойчивости ВВ и др.

В третьей главе представлены результаты исследования и их обсуждение. Диссертант провёл большую сложную и многоплановую работу, изучив влияние нескольких эффективных катализаторов горения БП на зависимость скорости горения от давления 10 различных ВВ и получил надёжные результаты, поскольку использовал высокоплотные заряды, которые прессовал при давлении 450 МПа. Это обеспечило послойное горение всех исследованных ВВ во всём интервале давления (до ~ 20 МПа).

В ходе исследований показано, что:

- катализаторы без сажи и УНТ влияют на горение только некоторых ВВ, при этом, также как и для порохов различного состава, эффективность их действия значительно повышается при введении сажи и, особенно, УНТ,

- для высокоэнергетических ВВ с повышенной скоростью и температурой горения влияние катализаторов, как и для БП, проявляется только при введении их совместно с сажей и, особенно, с УНТ. В этом случае эффективность действия комбинированного катализатора определяется их соотношением: зависимость Z (% углеродных материалов) проходит через максимум, как и для БП,

- как и для БП, значение Z в интервале давления 2 – 18 МПа уменьшается, в результате чего значение " v " снижается в 1,5 – 4 раза. В области более низкого давления (меньше $P \leq 2$ МПа) для некоторых ВВ значение Z увеличивается с ростом давления, т.е. зависимость $Z(p)$ проходит через максимум, поэтому в этой области величина " v " значительно выше, чем для образцов без катализаторов.

Следует отметить важный результат относительно горения тринитрорезорцина (ТНР). В предыдущих, исследованиях было показано, что ТНР начинает гореть при высоком давлении – с 19 МПа, а в данной работе – с 0,5 МПа. Это было совершенно непонятно, так как многие ароматические нитросоединения начинали

гореть при давлении 0,5 – 1 МПа. Диссертант установил, что это было обусловлено недостаточной величиной воспламенительного импульса для ТНР. Этот результат необходимо учитывать при исследовании всех энергетических материалов (ЭМ).

Убедительно показано, что катализаторы повышают скорость горения за счёт двух факторов: 1) увеличивают скорость тепловыделения в зоне каркаса, т.е. увеличивают градиент температуры в зоне каркаса; 2) существенно увеличивают теплопроводность каркаса за счёт металлических частиц, образовавшихся при его разложении. Поэтому в интервале давления, в котором значение $Z \geq 1,5$, ведущей зоной горения является каркас, из которого в к-фазу поступает основное количество ($\geq 80\%$) тепла, необходимое для распространения горения. Полученный вывод, безусловно, имеет практическое значение для целенаправленной компоновки ЭМ с необходимыми закономерностями горения в различном диапазоне давления. Так, диссертантом показана возможность использования ТНТ для разработки безнитроглицериновых топлив для газогенераторов и ракетных систем, применяемых для хозяйственных целей. Технология этого ВВ давно хорошо отработана, продукт имеет низкую себестоимость, такие составы хорошо катализируются и имеют низкие значения " v " ($\sim 0,3$). Заряды из таких топлив можно получать с использованием вальцевания и проходного прессования. Следует отметить, что в этих топливах можно использовать партии тротила, срок хранения которых закончился.

Научная новизна работы

Впервые систематически изучено влияние высокоэффективных катализаторов баллистических порохов (БП) на горение десяти взрывчатых веществ, содержащих группы – NO_2 , существенно отличающихся по энергетическим характеристикам, по термической устойчивости и по скорости горения. Показано, что закономерности влияния катализаторов на горение этих ВВ качественно идентичны закономерностям, полученным для БП.

Впервые показано, что влияние катализаторов на параметры волны горения ТНТ, ТНФ и ТНР такое же, как для БП: катализатор повышает градиент температуры и скорость тепловыделения в зоне каркаса, но только это не может увеличить теплоподвод из зоны каркаса ($q_1 = \frac{\lambda}{\rho \cdot U} \cdot \frac{dT}{dx}$) в к-фазу, так как скорость горения увеличивается в большей степени, чем dT/dx .

Впервые показано что, как и для БП, на поверхности погашенных образцов ТНФ и ТНР имеется сажистый каркас, на котором произошло значительное накопление частиц катализатора, в результате чего его коэффициент теплопроводности в $\sim 2,4$ раза для ТНФ и в ~ 7 раз для ТНР выше, чем зоны над поверхностью горения образцов без катализаторов.

Впервые показано, что для исследованных образцов при относительно небольшом количестве катализаторов (до 4%), также как и для БП, нет взаимосвязи между их влиянием на скорость горения и на термическое разложение. Это подтверждает, что катализ при их горении происходит на каркасе, а не в к-фазе.

Таким образом, диссертант полностью решил поставленную в диссертации цель.

Теоретическая и практическая значимость работы

На основании результатов данной работы и ранее полученных данных для БП различного состава можно полагать, что катализ горения для всех ЭМ, при горении которых тепловыделение происходит в результате окислительно-восстановительных реакций, протекает по единому механизму: на поверхности горения должен образоваться сажистый каркас» на котором происходит накопление частиц катализатора, которые повышают скорость тепловыделения, а также обеспечивают более высокую (в 2 и более раз) его теплопроводность по сравнению с газовой зоной. Возможность образования каркаса и, следовательно, эффективность влияния катализаторов зависят от температуры, скорости горения ЭМ и от давления, при котором происходит горение.

Очевидно, что предложенный механизм катализа горения позволит целенаправленно компоновать различные топлива с регулируемой скоростью горения и зависимостью её от давления и начальной температуры заряда. Так, в данной работе показана реальная возможность разработки безнитроглицериновых топлив, содержащих $\sim 30\%$ ТНТ, (в том числе партий ВВ, предназначенных для утилизации) для газогенераторов и ракетных систем, предназначенных для хозяйственных целей. Эти составы имеют низкую зависимость скорости горения от давления ($\nu = 0,36 - 0,33$) и низкую себестоимость. Заряды из этих топлив можно получить с использованием вальцевания и проходного прессования.

Достоверность результатов и выводов диссертации и их научная обоснованность подтверждается применением стандартных методов испытаний, апробированных методик исследования, а также современных методов анализа и

обработки полученных результатов. Полученные результаты исследований докладывались и обсуждались на международных конференциях и конгрессах. По результатам работы, опубликовано 13 печатных работ, в том числе 2 статьи в международном журнале из списка Web of Science, 3 статьи в журнале из списка ВАК, 8 статей и тезисов докладов в сборниках, представленных на всероссийских и международных конференциях и конгрессах.

Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертационной работы.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач работы, в поиске данных и их анализе для литературного обзора диссертации. Автором проведена основная часть экспериментальных исследований и грамотная их обработка, – анализ и обобщение полученных результатов, и подготовка их к публикациям.

Замечания по диссертации

1. Целесообразно было бы более детально обсудить, в чём заключается различное влияние салицилата никеля (СН) и фталата меди свинца (ФМС) на горение различных ВВ. Не обсуждается, почему катализаторы оказывают более сильное влияние на горение БП средней калорийности, чем на горение коллоксилина с такой же энергетикой.

2. Более детально можно было показать, почему эффективность влияния ФМС на скорость горения ТНФ непрерывно повышается при увеличении количества ФМС как в индивидуальном виде, так и в сочетании с УНТ: при давлении 1 МПа 25% ФМС увеличивают скорость горения в 14 раз (это означает, что значение $(\lambda \cdot \varphi)$ повысилось в 196 раз ($U \approx \sqrt{\lambda \cdot \varphi}$), хотя температура горения существенно снизилась (на 821 К).

3. В практическом плане для образцов топлива с 30% ТНТ целесообразно было бы получить данные по их технологическим характеристикам.

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.12 "Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ" и требованиям, установленным положением о присуждении учёных степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор – Зар Ни Аунг заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 "Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ".

Заместитель генерального директора Федерального государственного унитарного предприятия "Федеральный центр двойных технологий "Союз" по опытно-конструкторским и проектно-конструкторским работам

Гусев Сергей Алексеевич

доктор технических наук, профессор



(подпись, дата)
31.07.2023

Контактная информация: _____

Почтовый адрес организации: Россия, 140090, Московская обл., г.Дзержинский,
ул. Академика Жукова, д. 42

Рабочий телефон: 8 (495) 551-76-78

e-mail: gusew22@yandex.ru